

Requested document:	JP2001298215 click here to view the pdf document
---------------------	--

LIGHT-EMITTING ELEMENT

Patent Number:

Publication date: 2001-10-26

Inventor(s): TAKAGI HIRONORI; TANIZAWA KOJI; MARUI HIROMITSU

Applicant(s): NICHIA KAGAKU KOGYO KK

Requested Patent: ☐ [JP2001298215](#)

Application Number: JP20000114448 20000414

Priority Number(s): JP20000114448 20000414

IPC Classification: H01L33/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light-emitting element, the emitted- light output power and electrostatic withstand voltage of which can be increased in order to expand the range of application to various products, and also to obtain light-emitting elements of various luminescent colors.

SOLUTION: This nitride semiconductor light-emitting element comprises an n-side nitride semiconductor layer, an active layer, and a p-nitride semiconductor layer. The active layer has a multiple quantum well structure composed of $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$). The n-nitride semiconductor layer consists of an n-first multiple film layer formed by stacking two kinds of nitride semiconductor layer which are doped with n-type impurities of different concentrations and have different bandgap energies, or doped with n-type impurities of different concentrations and have same composition, and an n-type second multiple film layer formed by stacking a first nitride semiconductor layer containing In and a second nitride semiconductor layer having composition that is different from that of the first nitride semiconductor layer and positioned between the n-side first multiple film layer and the active layer. The n-second multiple film layer is a photoluminescence layer, which absorbs the light from the active layer and emits light at a wavelength which is different from that of the former.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-298215
(P2001-298215A)

(43)公開日 平成13年10月26日(2001.10.26)

(51)Int.Cl.⁷
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

テーマコード(参考)
F 5 F 0 4 1
C

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2000-114448(P2000-114448)

(22)出願日 平成12年4月14日(2000.4.14)

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社
徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 高木 宏典

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業 株式会社内

(72)発明者 谷沢 公二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業 株式会社内

(72)発明者 丸居 宏充

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業 株式会社内

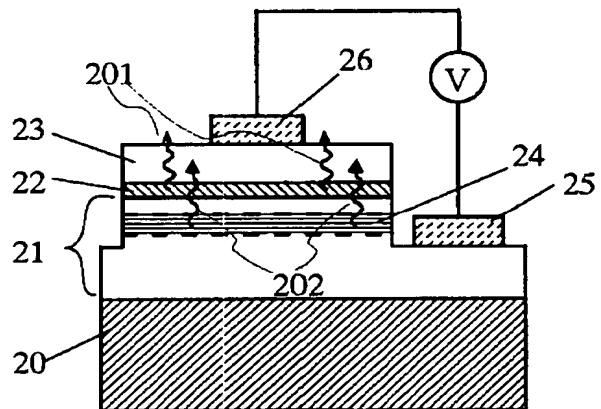
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 発光素子

(57)【要約】

【課題】 種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするために、発光出力及び静電耐圧を向上させることができる窒化物半導体発光素子を提供する。また、多彩な発光色の発光素子を得る。

【解決手段】 基板上に、n側窒化物半導体層、活性層及びp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、活性層が $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) よりなる多重量子井戸構造であり、n側窒化物半導体層が、n型不純物が互いに異なる濃度でドーパされたバンドギャップエネルギーが異なる又はn型不純物が互いに異なる濃度でドーパされた同一組成を有する2種類の窒化物半導体層が積層されてなるn側第1多層膜層と、Inを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなり、n側第1多層膜と活性層との間に位置するn側第2多層膜層が、フォトルミネセンス層であって、活性層からの光を吸収して、それとは異なる波長の光を発する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】活性層が、p型層と、n型層とに挟まれた構造を有する発光素子において、

前記活性層からの光の少なくとも一部を吸収し、該活性層からの光と異なる波長の光を発するフォトルミネセンス層が、前記p導電型層、n導電型層の少なくとも一方に設けられていることを特徴とする発光素子。

【請求項2】前記フォトルミネセンス層が、窒化物半導体を有することを特徴とする請求項1記載の発光素子

【請求項3】前記フォトルミネセンス層が、前記p型層に設けられると共に、p型不純物を有することを特徴とする請求項1又は2記載の発光素子。

【請求項4】前記フォトルミネセンス層が、前記n型層に設けられると共に、n型不純物を有することを特徴とする請求項1又は2記載の発光素子。

【請求項5】前記活性層が $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) 層を有し、前記フォトルミネセンス層が、 $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b < 1$, $a \neq b$) 層を有することを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の発光素子。

【請求項6】前記n型層がn側窒化物半導体層、前記p型層がp側窒化物半導体層であって、前記活性層が $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) 層を有し、前記フォトルミネセンス層が、 In を含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなるn側第2多層膜層を有することを特徴とする請求項1、2、4、5のいずれかに記載の発光素子。

【請求項7】前記n側窒化物半導体層が、n側第1多層膜と前記活性層との間にn側第2多層膜層が位置するようにn側第1多層膜を有すると共に、該n側第1多層膜が、n型不純物が互いに異なる濃度でドーパされているバンドギャップエネルギーが異なる又はn型不純物が互いに異なる濃度でドーパされている同一組成を有する少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなるn側第1多層膜層を有することを特徴とする請求項1、2、4～6のいずれかに記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多彩な発光色の発光素子に係り、特に、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサー等の発光素子使用される窒化物半導体(例えば、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$)を用いた素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、Si

ドーパGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)の InGaN 、あるいは InGaInN を有する多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層と、MgドーパAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドーパGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。多重量子井戸構造は、複数のミニバンドからなる構造を有し、効率よく、小さな電流でも発光が実現することから、単一量子井戸構造より発光出力が高くなる等の素子特性の向上が期待される。例えば、多重量子井戸構造の活性層を用いたLED素子として、特開平10-135514号公報には、発光効率及び発光光度を良好とするため、少なくともアンドープのGaNからなるバリア層、アンドープの InGaInN からなる井戸層からなる多重量子井戸構造の発光層、更に発光層のバリア層よりも広いバンドギャップを持つクラッド層を有する窒化物半導体素子が開示されている。

【0003】また、窒化物半導体のバンドギャップは、上記の組成式において、1.95eV～6.0eVまであり、紫外～赤色の発光素子の材料として従来より注目されている。近年、この窒化物半導体を用いた青色LED、青緑色LED、緑色LEDが実用化され、さらに、長波長発光のLEDの研究も試みられている。これら、窒化物半導体を用いたLEDの多色化は、様々な用途を可能にするものであり、それを開発することは重要である。それに加えて、1つの素子から複数の発光色、それによる混色光を得るものについても、様々な試みが成されている。例えば、発光素子と、それからの光によりそれとは異なる波長の光を得る蛍光体とを組み合わせることで発光を得るものがある。また、別の例としては、発光素子の発光層が、異なる波長の光が得られるように、異なるバンドギャップエネルギーの層を複数設けて、発光素子から発光を得るものなどがある。このことは、可視域での極めて広い範囲で発光が可能な窒化物半導体を利用することで、所望の波長の光を得ようとするものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の素子をLED素子として、照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等に使用するためには発光出力が十分満足できるものでない。このように多重量子井戸構造の活性層は、発光出力の飛躍的な向上が考えられるが、その予想される可能性を十分に発揮させ難い。

【0005】更にまた、窒化物半導体からなる素子は、その構造上、人体に生じる静電気より遥かに弱い100Vの電圧でさえも劣化する可能性がある。例えば、帯電防止処理された袋等から取り出す際、また製品に応用する際等、劣化する危険性が考えられる。窒化物半導体素

子の信頼性をより高めるには、このような劣化の危険性をなくすことが望まれる。そこで、本発明の目的は、多重量子井戸構造の活性層を用いた種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とする発光出力のさらなる向上、及び静電耐圧の向上する窒化物半導体発光素子を提供することである。

【0006】また、前記発光素子の多色化において、発光素子と蛍光体とを用いたものは、得られる発光にばらつきやむらが発生しやすい問題がある。これは、微少な発光素子チップに対して、その近くに蛍光体を配置すると、蛍光体の量が微量なものとなることから、製造上その量を制御することが困難となり、得られる発光装置とにばらつきを生み出す原因となる。加えて、チップに対して大きさを持った蛍光体を配置することから、チップからの発光の指向性、励起光を得る蛍光体の位置、及びその位置における蛍光体の量に依存することとなり、結果として発光素子の発光の範囲内において、励起光と透過光との関係を制御することが極めて困難なものとなり、その結果発光むらが発生しやすくなる。これとは異なる多色化への試みとなる発光素子は、図3に示すように、積層構造110に、複数の波長（ピーク波長）の光を発する発光層104、105を形成することになる。具体的には、このような発光層を形成するには、p-n接合部に多重量子井戸構造（障壁層103）などの複数の発光層（井戸層）104、105を有する活性層110を設けて、これら複数の発光層から異なる波長の発光を得るものとなる。しかし、このような発光層を用いるには、長波長域において、In混晶比の高い窒化物半導体を用いることになり、波長シフトが発生し、長波長の光を取り出すことが困難になる。また、In混晶比が高いと良好な結晶成長が困難になり、電流注入による発光では、活性層の破壊が発生し易くなり、素子信頼性を得ることが困難になる。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の発光素子は、図2に示すように、p-n接合部を含む電流注入領域内に、電流注入により発光する層と、その光を吸収して波長の異なる励起光を得る層とが設けられたものである。このことは、従来の窒化物半導体を用いたLEDにおいて、その素子構造内部に、LED光を異なる波長の光に変換するフォトルミネセンス光を生み出す層が設けられているものである。

【0008】<＝p層側・n層側

本発明では、電流注入により光を発する活性層を挟む、p型層、n型層に、前記フォトルミネセンス層が設けられるものである。この時、好ましくは、n型層に設けることであり、なぜなら、p型層に設けた場合は、n型層に設ける場合に比べて、励起光が得られる効率に極めて劣ったものとなるためである。この傾向は、窒化物半導体を用いたp型層、n型層に設けられ、p型層に設けら

れたフォトルミネセンス層は、電流注入による発光の光がほとんど励起されずに、その層を透過してしまうこととなる。このため、素子から得られる光の内、フォトルミネセンス層からの光成分（光の強度が全体に占める割合）は、僅かなものとなり、所望の発光色の光を得ることが困難な素子となる。

【0009】また、本発明のフォトルミネセンス層としては、活性層もしくはそれを構成し電流注入により発光する層のバンドギャップエネルギーが、フォトルミネセンス層のバンドギャップエネルギーより大きくすることで、好ましい光の励起が実現される。具体的には、活性層が $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) 層を有し、前記フォトルミネセンス層が、 $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b < 1$) 層である場合に、 $b > a$ としてすることである。本発明のフォトルミネセンス層の組成としては、特に限定されないが、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で表される組成で、活性層もこの組成式で表されるものとして、可視光域において、様々な発光色の発光素子が得られる。

【0010】本発明において、フォトルミネセンス層には、不純物が含まれることが、光の励起において重要なものとなる。これは、不純物が含まれないと、フォトルミネセンス層における光の励起がほとんど発生しなくなり、従来のフォトルミネセンス層を有していない窒化物半導体のLEDに比べて、その光の変化が僅かなものにとどまる。このため、従来のLEDとほとんど変化のない素子では、従来以上の応用を期待することは難しい。このため、本発明におけるフォトルミネセンス層には、不純物をドーピングすることが好ましく、その含有量として具体的には、 $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ の範囲である。この時、不純物量を多くすることで、光の変換効率が良好になる傾向がみられる。ここで、フォトルミネセンス層に用いるn型不純物としては、Si、Ge、Sn、S等のIV族、VI族元素を好ましく選択し、さらに好ましくはSi、Snを用いる。また、n型不純物として、Znを用いても良い。この時、不純物としてZnを用いると、フォトルミネセンス層のバンドギャップエネルギーの光とは別に、それより長い波長の光、すなわち長波長にシフトした光も取り出すことが可能となり、フォトルミネセンス層から得られる光の波長域が広がり、結果として素子から得られる光についても様々な光が取り出せることとなり、その応用において、有利に働くものとなる。また、フォトルミネセンス層に用いるp型不純物としては、Mg、Zn、Ca、Be等の周期律表第IIA族、IIB族元素を選択し、好ましくはMg、Ca等をp型不純物とする。

【0011】また、本発明のフォトルミネセンス層をn型層に設ける場合において、特に位置は限定されるものではない。具体的には、n型窒化物半導体のクラッド層、n型窒化物半導体のコンタクト層、の内部、もしくは

はフォトルミネセンス層がそれらクラッド層、コンタクト層として機能するようにしたものでも良い。好ましくは、後述する第2多層膜層をフォトルミネセンス層とするように、活性層に近いことであり、接して設けられていても良い。加えて、半導体層の積層方向において、特に活性層から離れた位置にフォトルミネセンス層を設ける場合に、図1で示すようなコンタクト層に設けると、電流注入による発光の位置からフォトルミネセンス層に至るまでに、各層の界面を伝播することとなるため、その界面での光の反射も重要な要因となる。例えば、窒化物半導体を用いた素子である実施例1において、n側コンタクト層に設ける場合、さらに基板に近い位置のn側コンタクト層の下側、すなわち電流注入領域の外側に設ける場合、とを比べると、n側コンタクト層の下側に設けたフォトルミネセンス層では、活性層からの光がその途中でほとんど反射され、フォトルミネセンス層にまで伝播しない傾向にある。これは、屈折率の高いn側コンタクト層側に活性層からの光が集まるためであり、可視光域のバンドギャップエネルギーを有する AlGaIn 、 InGaIn などを用いたフォトルミネセンス層では、従来結晶性の良いことからコンタクト層として多用されている GaIn のコンタクト層に光が集まることとなるからである。

【0012】以上説明したように、本発明において、p-n接合領域内におけるフォトルミネセンス層の位置が、得られる素子の発光色に大きく影響を及ぼすことになるため、これを十分に考慮して配置することが重要である。実際に、フォトルミネセンス層からの光を調整するためには、フォトルミネセンス層の膜厚、不純物の含有量を変化させることでもって、調整する。このとき、層の膜厚を考慮するに際し、後述する第2の多層膜のように、フォトルミネセンス層が多層膜構造であって、それを構成する層の全てが、光変換として機能しない場合には、光変換として機能する層の総膜厚を考慮する。この時、フォトルミネセンス層の膜厚としては、 100\AA 以上とすることで、発光色を変化させた発光素子が得られる。

【0013】また、本発明は、多重量子井戸構造の発光層を挟むように、n側にn型不純物濃度の異なる2種類以上の窒化物半導体層からなるn側第1多層膜層と、p側に第3及び第4の窒化物半導体層からなるp側多層膜クラッド層又はp型不純物を含む $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなるp側単一膜クラッド層とを組み合わせ形成することにより、発光効率を向上させ発光出力の向上した、さらに静電耐圧の向上した窒化物半導体素子を得ることができる。このように特定の組成や構造等を有する複数の窒化物半導体層を組み合わせることにより、多重量子井戸構造の活性層の性能を効率良く発揮することができる。また、多重量子井戸構造の活性層との組み合わせで好ましい他の窒化物半導体層を以下に記載

する。

【0014】本発明において、前記n側第1多層膜層と活性層との間に、 In を含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されたn側第2多層膜層を有すると更に発光効率が向上すると共に、 V_f を低下させて発光効率を向上させることができ好ましい。更に、本発明において、前記n側第1多層膜層より基板側に、n型不純物を含むn側コンタクト層を有すると、発光出力を向上させ、 V_f を低下させるのに好ましい。また更に、本発明において、前記n側コンタクト層が、アンドープ GaIn 層の上に形成されてなると、かかるアンドープ GaIn 層は結晶性の良い層として得られるので、n電極を形成する層となるn側コンタクト層の結晶性が良くなり、n側コンタクト層上に形成される活性層などのその他の窒化物半導体層の結晶性も良くなり、発光出力を向上させるのに好ましい。また更に、本発明において、前記アンドープ GaIn 層が、低温成長させた $\text{Ga}_{1-d}\text{Al}_d\text{N}$ ($0 < d \leq 1$) からなるバッファ層上に形成されていると、アンドープ GaIn 層の結晶性が更に良好となり、n側コンタクト層等の結晶性もより良好となり、発光出力の向上において好ましく、更にまた、p側多層膜クラッド層又はp側単一膜クラッド層上に Mg ドープp側 GaIn コンタクト層を形成してなると、p型特性を得やすくなると共に、かかるp側 GaIn コンタクト層がこの上に形成されるp電極と良好なオーミック接触を有し、発光出力を向上させるのに好ましい。また更に、本発明において、前記アンドープ GaIn 層、n側コンタクト層、及びn側第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20\mu\text{m}$ 、好ましくは $3 \sim 10\mu\text{m}$ 、より好ましくは $4 \sim 9\mu\text{m}$ であると、静電耐圧の向上の点で好ましい。また上記範囲の膜厚であると静電耐圧以外の他の素子特性も良好である。また、上記3層の合計の膜厚は、各層の好ましい膜厚の範囲内で、3層の合計の膜厚が上記範囲となるように適宜調整される。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の構造を示す窒化物半導体素子の模式的断面図である図1を用いて、本発明を詳細に説明する。図1は、基板1上に、バッファ層2、アンドープ GaIn 層3、n型不純物を含むn側コンタクト層4、n型不純物を含むn側第1多層膜5、第1及び第2の窒化物半導体層よりなるn側第2多層膜6（フォトルミネセンス層）、多重量子井戸構造の活性層7、第3及び第4の窒化物半導体層からなるp側多層膜クラッド層8又はp側単一膜クラッド層8、 Mg ドープp側 GaIn コンタクト層9が順に積層された構造を有する。更にn側コンタクト層4上にn電極11、p側 GaIn コンタクト層9上にp電極10がそれぞれ形成されている。

【0016】本発明において、フォトルミネセンス層と

は、活性層からの光を吸収し、それとは異なる波長の光を発するものであり、具体的には、n型層として、後述のn側コンタクト層、n側第1多層膜層、n側第2多層膜層、の内部、もしくはその層でもってフォトルミネセンス層を設けるものである。好ましくは、n側第2多層膜層をフォトルミネセンス層とする。

【0017】本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル ($MgAl_2O_4$) のような絶縁性の基板の他、SiC (6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0018】本発明において、バッファ層2としては、 $Ga_dAl_{1-d}N$ (但しdは $0 < d \leq 1$ の範囲である。) からなる窒化物半導体であり、好ましくはAlの割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGaNからなるバッファ層2が挙げられる。バッファ層2の膜厚は、 $0.002 \sim 0.5 \mu m$ 、好ましくは $0.005 \sim 0.2 \mu m$ 、更に好ましくは $0.01 \sim 0.02 \mu m$ の範囲に調整する。バッファ層2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。バッファ層2の成長温度は、 $200 \sim 900^\circ C$ であり、好ましくは $400 \sim 800^\circ C$ の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、この多結晶が種結晶としてバッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。また、このような低温で成長させるバッファ層2は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0019】次に、本発明において、アンドープGaN層3は、成長する際にn型不純物を添加せずに成長してなる層を示す。バッファ層2上にアンドープGaN層3を成長させるとアンドープGaN層3の結晶性が良好となり、アンドープGaN層3上に成長させるn側コンタクト層4などの結晶性も良好となる。アンドープGaN層3の膜厚としては、 $0.01 \mu m$ 以上であり、好ましくは $0.5 \mu m$ 以上であり、より好ましくは $1 \mu m$ 以上である。またアンドープGaN層3の膜厚の上限は特に限定されないが、製造効率等を考慮して適宜調整される。膜厚が上記範囲であると、n側コンタクト層4以降の層を結晶性良く成長でき好ましい。更に、アンドープGaN層3の膜厚が上記範囲であると、n側コンタクト層4とn側第1多層膜層5との合計の膜厚を、前記範囲に調整し静電耐圧を向上させる点で好ましい。

【0020】次に、本発明において、n型不純物を含むn側コンタクト層4は、n型不純物を $3 \times 10^{18} / cm^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18} / cm^3$ 以上の濃度で含有する。このようにn型不純物を多くドーピングし、この層をn側コンタクト層とすると、Vf及び閾値を低下させるこ

とができる。不純物濃度が上記範囲を逸脱するとVfが低下しにくくなる傾向がある。また、n側コンタクト層4は、n型不純物濃度が小さい結晶性の良好なアンドープGaN層3上に形成されると、高濃度のn型不純物を有しているにも関わらず結晶性を良好に形成することができる。n側コンタクト層4のn型不純物濃度の上限は特に限定しないが、コンタクト層として結晶性が悪くなりすぎる限界としては $5 \times 10^{21} / cm^3$ 以下が望ましい。

【0021】n側コンタクト層4の組成は、 $In_eAl_fGa_{1-e-f}N$ ($0 \leq e, 0 \leq f, e+f \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、f値0.2以下の $Al_fGa_{1-f}N$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。n側コンタクト層4の膜厚は特に問うものではないが、n電極を形成する層であるので $0.1 \sim 20 \mu m$ 、好ましくは $0.5 \sim 10 \mu m$ 、より好ましくは $1 \sim 5 \mu m$ である。膜厚が上記範囲であると抵抗値を低くでき、発光素子の順方向電圧を低くでき好ましい。更に、n側コンタクト層4の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層3及びn側第1多層膜層5との組み合わせにより、静電耐圧を向上させる点で好ましい。また、n側コンタクト層4は、後述のn側第1多層膜層5を厚膜に形成する場合、省略することができる。

【0022】次に、本発明において、n側第1多層膜層5は、n型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされているバンドギャップエネルギーが異なる又はn型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされている同一組成を有する少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなる多層膜からなる。n側第1多層膜層5の膜厚は、 $2 \mu m$ 以下であり、好ましくは $1.5 \mu m$ 以下であり、より好ましくは $0.9 \mu m$ 以下である。また下限は特に限定されないが、例えば $0.05 \mu m$ 以上である。膜厚がこの範囲であると、発光出力を向上させるのに好ましい。更に、n側第1多層膜層5の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層3とn側コンタクト層4との組み合わせにより、静電耐圧を向上させる点で好ましい。上記多層膜層を構成する窒化物半導体層の互いの不純物濃度が異なることを変調ドーピングといい、この場合、一方の層が不純物をドーピングしない状態、つまりアンドープが好ましい。

【0023】まず、以下にn側第1多層膜層5が、互いにバンドギャップエネルギーが異なる少なくとも2種類の窒化物半導体層を積層してなる多層膜である場合について説明する。n側第1多層膜層5の多層膜層を構成するバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層及びバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層の膜厚は、 100 \AA (オングストローム) 以下、さらに好ましくは 70 \AA 以下、最も好ましくは $10 \sim 40 \text{ \AA}$ の膜厚に調整する。 100 \AA よりも厚いと、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層及びバンドギャップ

エネルギーの小さな窒化物半導体層が弾性歪み限界以上の膜厚となり、膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすい傾向にある。バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層の膜厚の下限は特に限定せず、1原子層以上であればよいが、前記のように10Å以上が最も好ましい。

【0024】上記のようにn側第1多層膜層5が、膜厚の薄い多層膜構造であると、その多層膜層を構成する窒化物半導体層の各膜厚を弾性臨界膜厚以下とすることができ、結晶欠陥の非常に少ない窒化物半導体が成長できる。さらに、この多層膜層で基板からアンドープGa_{1-x}N層3やn側コンタクト層4を通して発生している結晶欠陥をある程度止めることができ、多層膜層の上に成長させるn側第2多層膜層6の結晶性を良くすることができる。さらにHEMTに類似した効果もある。

【0025】バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層は、少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくはAl_gGa_{1-g}N (0<g≤1)を成長させる方が望ましい。一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体はバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体であればどのようなものでも良いが、好ましくはAl_hGa_{1-h}N (0≤h<1, g>h)、In_jGa_{1-j}N (0≤j<1)のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体が成長させやすく、また結晶性の良いものが得られやすい。その中でも特に好ましくはバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体は実質的にInを含まないAl_gGa_{1-g}N (0<g<1)とし、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体は実質的にAlを含まないIn_jGa_{1-j}N (0≤j<1)とし、中でも結晶性に優れた多層膜を得る目的で、Al混晶比(g値)0.3以下のAl_gGa_{1-g}N (0<g≤0.3)と、Ga_{1-x}Nの組み合わせが最も好ましい。

【0026】また、n側第1多層膜層5が、光閉じ込め層、及びキャリア閉じ込め層としてクラッド層を形成する場合、活性層の井戸層よりもバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体を成長させる必要がある。バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層とは、即ちAl混晶比の高い窒化物半導体である。従来ではAl混晶比の高い窒化物半導体を厚膜で成長させると、クラックが入りやすくなるため、結晶成長が非常に難しかった。しかしながら本発明のようにn側第1多層膜層5を多層膜層にすると、多層膜層を構成する単一層をAl混晶比の多少高い層としても、弾性臨界膜厚以下の膜厚で成長させているのでクラックが入りにくい。そのため、Al混晶比の高い層を結晶性良く成長できることにより、光閉じ込め、キャリア閉じ込め効果が高くなり、レーザ素子では閾値電圧、LED素子ではV_f(順方向電圧)を低下させることができる。

【0027】さらに、このn側第1多層膜層5のバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層とのn型不純物濃度が異なることが好ましい。これはいわゆる変調ドープと呼ばれるもので、一方の層のn型不純物濃度を小さく、好ましくは不純物をドープしない状態(アンドープ)として、もう一方を高濃度にドープすると、閾値電圧、V_f等を低下させることができる。これは不純物濃度の低い層を多層膜層中に存在させることにより、その層の移動度が大きくなり、また不純物濃度が高濃度の層も同時に存在することにより、キャリア濃度が高いままで多層膜層が形成できることによる。つまり、不純物濃度が低い移動度の高い層と、不純物濃度が高いキャリア濃度が大きい層とが同時に存在することにより、キャリア濃度が大きく、移動度も大きい層がクラッド層となるために、閾値電圧、V_fが低下すると推察される。

【0028】バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層にn型不純物を多くドープする場合、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層への好ましいドープ量としては、1×10¹⁷/cm³~1×10²⁰/cm³、さらに好ましくは1×10¹⁸/cm³~5×10¹⁹/cm³の範囲に調整する。1×10¹⁷/cm³よりも少ないと、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層との差が少なくなると、キャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また1×10²⁰/cm³よりも多いと、素子自体のリーク電流が多くなりやすい傾向にある。一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層のn型不純物濃度はバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは1/10以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いので、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層側から拡散してくるn型不純物があり、その量は1×10¹⁹/cm³以下が望ましい。n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。この作用は、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層にn型不純物を少なくドープして、バンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層にn型不純物を多くドープする場合も同様である。以上、多層膜層に不純物を好ましく変調ドープする場合について述べたが、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層との不純物濃度を等しくすることもできる。

【0029】さらにまたn側第1多層膜層の多層膜を構成する窒化物半導体層において、不純物が高濃度にドープされる層は、厚さ方向に対し、半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい(好ましくはアンドープ)とすることが望ましい。具体的に説明すると、例えばn型不純物としてSiをドープ

したAlGaInと、アンドープのGaIn層とで多層膜層を形成した場合、AlGaInはSiをドーピングしているのでドナーとして電子を伝導帯に出すが、電子はポテンシャルの低いGaInの伝導帯に落ちる。GaIn結晶中にはドナー不純物をドーピングしていないので、不純物によるキャリアの散乱を受けない。そのため電子は容易にGaIn結晶中を動くことができ、実質的な電子の移動度が高くなる。これは二次元電子ガスの効果と類似しており、電子横方向の実質的な移動度が高くなり、抵抗率が小さくなる。さらに、バンドギャップエネルギーの大きいAlGaInの中心領域にn型不純物を高濃度にドーピングすると効果はさらに大きくなる。即ちGaIn中を移動する電子によっては、AlGaIn中に含まれるn型不純物イオン（この場合Si）の散乱を多少とも受ける。しかしAlGaIn層の厚さ方向に対して両端部をアンドープするとSiの散乱を受けにくくなるので、さらにアンドープGaIn層の移動度が向上するのである。

【0030】次に、n側第1多層膜層5が、同一組成の窒化物半導体層が積層されてなり、n型不純物がそれら窒化物半導体層間で異なる濃度でドーピングされている場合について説明する。まず、n側第1多層膜層5を構成する窒化物半導体としては、特に限定されず同一組成であればよいが、好ましくはGaInが挙げられる。n側第1多層膜層5がGaInで構成されていると、3元混晶より2元混晶のGaInであると結晶性良く成長でき、以降に成長させる窒化物半導体の結晶性も良好となり好ましい。このような同一組成、例えばGaInのn側第1多層膜層5は、n型不純物を含む第1のGaIn層と第1のGaIn層のn型不純物濃度と異なる濃度の第2のGaIn層、好ましくはどちらか一方がアンドープGaIn層である少なくとも2種類以上の窒化物半導体からなる多層膜構造を有していることが好ましい。このように変調ドーピングされ多層膜構造を有していると、上記n側第1多層膜層5がバンドギャップエネルギーの異なり変調ドーピングされた少なくとも2種類の層から構成される場合と同様の作用が得られる。n側不純物の濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $3 \times 10^{18} \sim 7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。また、この場合のn側第1多層膜層5の総膜厚は、特に限定されないが、 $1000 \sim 4000 \text{ \AA}$ 、好ましくは $2000 \sim 3000 \text{ \AA}$ である。また多層膜の各膜厚は 500 \AA 以下、好ましくは 200 \AA 以下、より好ましくは 100 \AA 以下であり、膜厚の下限は特に限定されないが、1原子層以上であればよいが、 10 \AA 以上が好ましい。上記のような膜厚であると、結晶性良く成長させることができ、発光出力を向上させるのに好ましい。

【0031】また、以上説明した、バンドギャップエネルギーの異なる又は同一組成で更に不純物濃度の異なる2種類以上の層からなるn側第1多層膜層5は、n側コンタクト層を兼ねることができる。この場合、n側第1

多層膜層5の膜厚は、 $0.5 \sim 4 \mu\text{m}$ 、好ましくは $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $2 \sim 2.8 \mu\text{m}$ である。この場合のn側第1多層膜層5の膜厚は、上記の少なくとも2種類以上の窒化物半導体層により調整される。この場合のn側第1多層膜層5を構成する各膜厚は、上記範囲の薄膜層の多層膜層としてもよく、また全体としての膜厚がn側コンタクト層を兼ねる場合のn側第1多層膜層5の上記膜厚の範囲であれば各膜厚が上記範囲を超える2種類以上の窒化物半導体により調整してもよい。

【0032】次に、本発明において、n側第2多層膜層6は、Inを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されたn側多層膜層からなり、前記第1の窒化物半導体層、または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が 100 \AA 以下である。好ましくは第1の窒化物半導体層および第2の窒化物半導体層の両方を 100 \AA 以下、さらに好ましくは 70 \AA 以下、最も好ましくは 50 \AA 以下にする。このように膜厚を薄くすることにより、多層膜層が超格子構造となって、多層膜層の結晶性が良くなるので、出力が向上する傾向にある。ここで、前記n側第1多層膜層と、上記n側第2多層膜層とを組み合わせると、発光出力が向上し、順方向電圧(Vf)が低下し好ましい。この理由は定かではないが、n側第2多層膜層上に成長させる活性層の結晶性が良好となるためと考えられる。

【0033】第1の窒化物半導体層は $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 1$)とし、第2の窒化物半導体層は $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{N}$ ($0 \leq m < 1, m < k$)、好ましくはGaInとすることが最も好ましい。

【0034】さらに、前記第1の窒化物半導体層または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が、近接する第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層同士で互いに異なっても、同一でもよい。また、膜厚が近接する層同士で互いに異なることは、第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第2の窒化物半導体層（第1の窒化物半導体層）を挟んだ第1の窒化物半導体層（第2の窒化物半導体層）の膜厚が互いに異なることを意味する。

【0035】さらにまた、前記第1の窒化物半導体層、または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成が、近接する第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なることが好ましい。このことは、第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第2の窒化物半導体層（第1の窒化物半導体層）を挟んだ第1の窒化物半導体層（第2の窒化物半導体層）のIII族元素の組成比が互いに異なることを意味する。

【0036】n側第2多層膜層6は、活性層と離間して

形成されていても良いが、最も好ましくは活性層に接して形成されているようにする。活性層に接して形成する方法がより出力が向上しやすい傾向にある。

【0037】また、 n 側第2多層膜層6の第1の窒化物半導体層および第2の窒化物半導体層がアンドープであることが好ましい。アンドープとは意図的に不純物をドーピングしない状態を指し、例えば隣接する窒化物半導体層から拡散により混入される不純物も本発明ではアンドープという。なお拡散により混入される不純物は層内において不純物濃度に勾配がついていることが多い。

【0038】第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層のいずれか一方に、 n 型不純物がドーピングされていてもよい。これは変調ドーピングと呼ばれるもので、変調ドーピングすることにより、出力が向上しやすい傾向にある。なお n 型不純物としては、Si、Ge、Sn、S等のIV族、VI族元素を好ましく選択し、さらに好ましくはSi、Snを用いる。また、 n 型不純物として、Znを用いてもよい。この時、不純物としてZnを用いると、フォトルミネセンス層のバンドギャップエネルギーの光とは別に、それより長い波長の光、すなわち長波長にシフトした光も取り出すことが可能となり、フォトルミネセンス層から得られる光の波長域が広がり、結果として素子から得られる光についても様々な光が取り出せることとなり、その応用において、有利に働くものとなる。

【0039】また、第1の窒化物半導体層および第2の窒化物半導体層の両方に n 型不純物がドーピングされていてもよい。 n 型不純物をドーピングする場合、不純物濃度は $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下に調整する。 $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、逆に出力が低下する傾向にある。これは変調ドーピングの場合も同様である。

【0040】図1に示すように、活性層7を挟んで下部にある n 側窒化物半導体層に、Inを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層された n 側第2多層膜層6を有している。 n 側第2多層膜層6において、第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層はそれぞれ少なくとも一層以上形成し、合計で2層以上、好ましくは3層以上、さらに好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し合計で4層以上積層することが望ましい。 n 側第2多層膜層6が活性層7に接して形成されている場合、活性層の最初の層（井戸層、若しくは障壁層）と接する多層膜層は第1の窒化物半導体層でも、第2の窒化物半導体層いずれでも良く、 n 側第2多層膜層6の積層順序は特に問うものではない。なお、図1では n 側第2多層膜層6が、活性層7に接して形成されているが、この n 側第2多層膜層6と活性層との間に、他の n 型窒化物半導体よりなる層を有していてもよい。この n 側第2多層膜層を構成する第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層の少なくとも一方の膜厚を100Å以下、

好ましくは70Å以下、より好ましくは50Å以下とすることにより、薄膜層が弾性臨界膜厚以下となって結晶性が良くなり、その上に積層する第1、若しくは第2の窒化物半導体層の結晶性が良くなり、多層膜層全体の結晶性が良くなるため、素子の出力が向上する。

【0041】第1の窒化物半導体層はInを含む窒化物半導体、好ましくは3元混晶の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 1$)とし、さらに好ましくは k 値が0.5以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ 、最も好ましくは k 値が0.2以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ とする。一方、第2の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層と組成が異なる窒化物半導体であれば良く、特に限定しないが、結晶性の良い第2の窒化物半導体を成長させるためには、第1の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きい2元混晶あるいは3元混晶の窒化物半導体を成長させ、その中でもGaNとすると、全体に結晶性の良い多層膜層が成長できる。従って最も好ましい組み合わせとしては、第1の窒化物半導体層が k 値が0.5以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ であり、第2の窒化物半導体層がGaNとの組み合わせである。

【0042】第1および第2の窒化物半導体層の膜厚を100Å以下、好ましくは70Å以下、より好ましくは50Å以下にする。単一窒化物半導体層の膜厚を100Å以下とすることにより、窒化物半導体単一層の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長できる。また、両方を70Å以下にすることによって、 n 側第2多層膜層6が超格子（多層膜）構造となり、この結晶性の良い多層膜構造の上に活性層を成長させると、 n 側第2多層膜層6がバッファ層のような作用をして、活性層が結晶性よく成長できる。

【0043】さらにまた、第1、または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚を、近接する第1、または第2の窒化物半導体層同士で互いに異なるようにすることも好ましい。例えば第1の窒化物半導体層を InGaN とし、第2の窒化物半導体層をGaNとした場合、GaN層とGaN層との間の InGaN 層の膜厚を、活性層に接近するに従って次第に厚くしたり、また薄くしたりすることにより、多層膜層内部において屈折率が変化するため、実質的に屈折率が次第に変化する層を形成することができる。即ち、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成するのと同じ効果が得られる。このため例えばレーザ素子のような光導波路を必要とする素子においては、この多層膜層で導波路を形成して、レーザ光のモードを調整できる。

【0044】また、第1、または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成を、近接する第1または第2の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なる、又は同一でもよい。例えば、同一III族元素の組成同士で互いに異ならせると、第1の窒化物半導体層を InGaN とし、第2の窒化物

半導体層をGa_{1-x}Nとした場合、Ga_{1-x}N層とGa_{1-x}N層との間のInGa_{1-x}N層のIn組成を活性層に接近するに従って次第に多くしたり、また少なくしたりすることにより、前述の態様と同じく、多層膜層内部において屈折率を変化させて、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成することができる。なおIn組成が減少するに従い、屈折率は小さくなる傾向にある。

【0045】第1および第2の窒化物半導体層は両方ともアンドープでも良いし、両方にn型不純物がドーピングされていても良いし、またいずれか一方に不純物がドーピングされていてもよい。結晶性を良くするためには、アンドープが最も好ましく、次に変調ドーピング、その次に両方ドーピングの順である。なお両方にn型不純物をドーピングする場合、第1の窒化物半導体層のn型不純物濃度と、第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度は異なっても良い。

【0046】本発明において、多重量子井戸構造の活性層7は、In_aGa_{1-a}N ($0 \leq a < 1$) で形成され、n型、p型いずれでもよいが、アンドープ（不純物無添加）とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり好ましい。活性層7にn型不純物及び／又はp型不純物をドーピングしてもよい。活性層7にn型不純物をドーピングするとアンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層7にp型不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5 eV低いエネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広がる。活性層にp型不純物とn型不純物との双方をドーピングすると、前述したp型不純物のみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電性はSi等のn型ドーパントをもドーピングして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させるには、ノンドープが最も好ましい。

【0047】活性層7の障壁層と井戸層との積層順は、特に問わず、井戸層から積層して井戸層で終わる、井戸層から積層して障壁層で終わる、障壁層から積層して障壁層で終わる、また障壁層から積層して井戸層で終わっても良い。井戸層の膜厚としては100 Å以下、好ましくは70 Å以下、さらに好ましくは50 Å以下に調整する。井戸層の膜厚の上限は、特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10 Å以上である。井戸層が100 Åよりも厚いと、出力が向上しにくい傾向にある。一方、障壁層の厚さは2000 Å以下、好ましくは500 Å以下、より好ましくは300 Å以下に調整する。障壁層の膜厚の上限は特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10 Å以上である。障壁層が上記範囲であると出力が向上し易く好ましい。また、活性層7全体の膜厚はとくに限定されず、LED素子などの希望の波長等

を考慮して、障壁層及び井戸層の各積層数や積層順を調整し活性層7の総膜厚を調整する。

【0048】本発明において、p側クラッド層8は、バンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層とが積層されて、互いのp型不純物濃度が異なる、又は同一の多層膜層、またはp型不純物を含有するAl_bGa_{1-b}N ($0 \leq b \leq 1$) からなる単一層である。まず、p側クラッド層8が多層膜構造（超格子構造）を有するp側多層膜クラッド層の場合について以下に説明する。p側多層膜クラッド層17の多層膜層を構成する第3、第4の窒化物半導体層の膜厚は、100 Å以下、さらに好ましくは70 Å以下、最も好ましくは10～40 Åの膜厚に調整され、第3窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層との膜厚は、同一でも異なってもよい。多層膜構造の各膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長でき、また窒化物半導体層の結晶性が良くなるので、p型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さいp層が得られ、素子のV_f、しきい値が低下し易い傾向にある。このような膜厚の2種類の層を1ペアとして複数回積層して多層膜層を形成する。そして、p側多層膜クラッド層8の総膜厚の調整は、この第3及び第4の窒化物半導体層の各膜厚を調整し積層回数を調整することにより行う。p側多層膜クラッド層8の総膜厚は、特に限定されないが、2000 Å以下、好ましくは1000 Å以下、より好ましくは500 Å以下であり、総膜厚がこの範囲であると発光出力が高く、順方向電圧（V_f）が低下し好ましい。第3の窒化物半導体層は少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくはAl_nGa_{1-n}N ($0 < n \leq 1$) を成長させることが望ましく、第4の窒化物半導体は好ましくはAl_pGa_{1-p}N ($0 \leq p < 1, n > p$)、In_rGa_{1-r}N ($0 \leq r \leq 1$) のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体を成長させることが望ましい。p側クラッド層8を超格子構造とすると、結晶性が良くなり、抵抗率が低下しV_fが低下する傾向がある。

【0049】p側多層膜クラッド層8のp型不純物濃度において、第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層とのp型不純物濃度が異なる場合について以下に示す。p側多層膜クラッド層8の第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層とのp型不純物濃度は異なり、一方の層の不純物濃度を大きく、もう一方の層の不純物濃度を小さくする。n側クラッド層12と同様に、バンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層の方のp型不純物濃度を大きくして、バンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度を小さく、好ましくはアンドープとすると、閾値電圧、V_f等を低下させることができる。またその逆でも良い。

つまりバンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度を小さくして、バンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度を大きくしても良い。

【0050】第3の窒化物半導体層への好ましいドーパ量としては $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、同様に第4の窒化物半導体層との差が少なくなつて、同様にキャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも多いと、結晶性が悪くなる傾向にある。一方、第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度は第3の窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1/10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、第3の窒化物半導体側から拡散してくるp型不純物があり、その量は $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。また、バンドギャップエネルギーが大きい第3の窒化物半導体層にp型不純物を少なくドーパして、バンドギャップエネルギーが小さい第4の窒化物半導体層にp型不純物を多くドーパする場合も同様である。p型不純物としてはMg、Zn、Ca、Be等の周期律表第IIA族、IIB族元素を選択し、好ましくはMg、Ca等をp型不純物とする。

【0051】さらにまた多層膜を構成する窒化物半導体層において、不純物が高濃度にドーパされる層は、厚さ方向に対し、半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい（好ましくはアンドープ）とすることが、抵抗率を低下させるのに望ましい。

【0052】またp側多層膜クラッド層8の第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度が同一の場合は、上記第3と第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度が異なる場合の第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度の範囲内で不純物濃度が調整される。このようにp型不純物濃度が同一であると、上記不純物濃度が異なる場合に比べて、やや結晶性の劣る傾向があるが、キャリア濃度の高いp型クラッド層8を形成し易くなり、出力向上の点で好ましい。

【0053】次に、p側クラッド層8が、p型不純物を含み $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなる単一層からなる場合、p側単一膜クラッド層8の膜厚は、2000 Å以下、好ましくは1000 Å以下であり、より好ましくは500 Å以下である。膜厚が上記範囲であると、発光出力が向上し、Vfが低下し好ましい。p側単一膜クラッド層8の組成は、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) である。また、単一膜層のクラッド層は、前記多層膜構造のp側クラッド層に比べ、結晶性はやや劣るものの、前記第1の多層膜層4との組み合わせにより、結晶性良く成長させることができ、しきい値やVfの低下

が可能となる。更に、このように単一膜としてもその他の層構成と組み合わせることにより素子の性能の低下を少なくし、しかも単一膜であるので、製造工程の簡易化が可能となり、量産する場合に好ましい。p側単一膜クラッド層8のp型不純物の濃度は $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。不純物濃度が上記範囲であると、良好なp型膜ができ好ましい。

【0054】次に、本発明において、Mgドーパp側GaInコンタクト層9は、その組成をIn、Alを含まない二元混晶の窒化物半導体とする。仮にIn、Alを含有していると、p電極10とオーミック接触が得られなくなり、発光効率が低下する。p側コンタクト層9の膜厚は0.001~0.5 μm、好ましくは0.01~0.3 μm、より好ましくは0.05~0.2 μmである。膜厚が0.001 μmよりも薄いとp型GaAlNクラッド層と電気的に短絡しやすくなり、コンタクト層として作用しにくい。また、三元混晶のGaAlNクラッド層の上に、組成の異なる二元混晶のGaInコンタクト層を積層するため、逆にその膜厚を0.5 μmよりも厚くすると、結晶間のミスフィットによる格子欠陥がp側GaInコンタクト層9中に発生しやすく、結晶性が低下する傾向にある。なお、コンタクト層の膜厚は薄いほどVfを低下させ発光効率を向上させることができる。また、このp型GaInコンタクト層9のp型不純物はMgであるとp型特性が得られ易く、またオーミック接触が得られ易くなる。Mgの濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度である。Mg濃度がこの範囲であると良好なp型膜が得られ易く、Vfが低下し好ましい。

【0055】また、n電極11はn側コンタクト層4上に、p電極はMgドーパp側GaInコンタクト層9上にそれぞれ形成されている。n電極及びp電極の材料としては特に限定されず、例えばn電極としてはW/Al、p電極としてはNi/Auなどを用いることができる。

【0056】

【実施例】以下に本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

【実施例1】図1を元に実施例1について説明する。サファイア(C面)よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0057】(バッファ層2) 続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaInよりなるバッファ層2を約150 Åの膜厚で成長させる。

【0058】(アンドープGaIn層3) バッファ層2成

長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0059】(n側コンタクト層4) 続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層4を2.25μmの膜厚で成長させる。

【0060】(n側第1多層膜層5) 次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を75Åの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaN層を25Åの膜厚で成長させる。このようにして、75ÅのアンドープGaN層からなるA層と、SiドープGaN層を有する25ÅのB層とからなるペアを成長させる。そしてペアを25層積層して2500Å厚として、超格子構造の多層膜よりなるn側第1多層膜層5を成長させる。

【0061】(n側第2多層膜層6) 次に、同様の温度で、アンドープGaNよりなる第2の窒化物半導体層を40Å成長させ、次に温度を800℃にして、TMG、TMI、SiH₄、アンモニアを用い、Siを1.25nmolを供給して、SiドープのIn_{0.55}Ga_{0.45}Nよりなる第1の窒化物半導体層を20Å成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第2+第1の順で交互に30層づつ積層させ、最後にGaNよりなる第2の窒化物半導体層を40Å成長させた超格子構造の多層膜よりなるn側第2多層膜層6を1840Åの膜厚で成長させる。

【0062】(活性層7) 次に、アンドープGaNよりなる障壁層を200Åの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる井戸層を30Åの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層、交互に積層して、総膜厚1120Åの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

【0063】(p側多層膜クラッド層8) 次に、温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第3の窒化物半導体層を40Åの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニア、Cp₂Mgを用いMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.03}Ga_{0.97}Nよりなる第4の窒化物半導体層を25Åの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第3+第4の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第3の窒化物半導体層を40Åの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層8を365Åの膜厚で成長させる。

【0064】(p側GaNコンタクト層9) 続いて1050℃で、TMG、アンモニア、Cp₂Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層9を700Åの膜厚で成長させる。

【0065】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0066】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッチング)装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn側コンタクト層4の表面を露出させる。

【0067】エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200ÅのNiとAuを含む透光性のp電極10と、そのp電極10の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極11を0.5μmの膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させたn側コンタクト層4の表面にはWとAlを含むn電極12を形成してLED素子とした。

【0068】得られる発光素子は、活性層からの発光ピーク波長が550nm、フォトルミネセンス層からの発光(励起光)ピーク波長がおおよそ450nmのものが得られ、この発光素子から得られる混色光は、白色のものが得られる。この時、第1の窒化物半導体層にZnをドープすると、フォトルミネセンス層からの励起光として440nmの主ピーク波長の光の他に、これより長波長側にシフトした光が得られる傾向にある。すなわち、Znをドープすることで、フォトルミネセンス層のバンドギャップエネルギーの光と、それより更に長い波長の光をも取り出すことができるものである。このことは、第1の窒化物半導体層のIn混晶比を高くしなくても、より長波長の光が取り出せることとなり、Inの混晶比が高くなるにつれて成長が困難になることから、フォトルミネセンス層から様々な波長の光を取り出す上で有利に働くものとなる。

【0069】

【発明の効果】本発明の発光素子は、活性層と、それを挟むp型層、n型層の少なくとも一方にフォトルミネセンス層を設けることで、可視光域における様々な発光色(白色光も含む)の発光素子が得られる。また、n型層にフォトルミネセンス層を設けることで、好ましく混色光が得られる発光素子となり、極めて自由度が高く発光色を選択できる発光素子が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態であるLED素子の構造を示す模式断面図である。

【図2】図2は、本発明の一実施の形態であるLED素子の構造を示す模式断面図である。

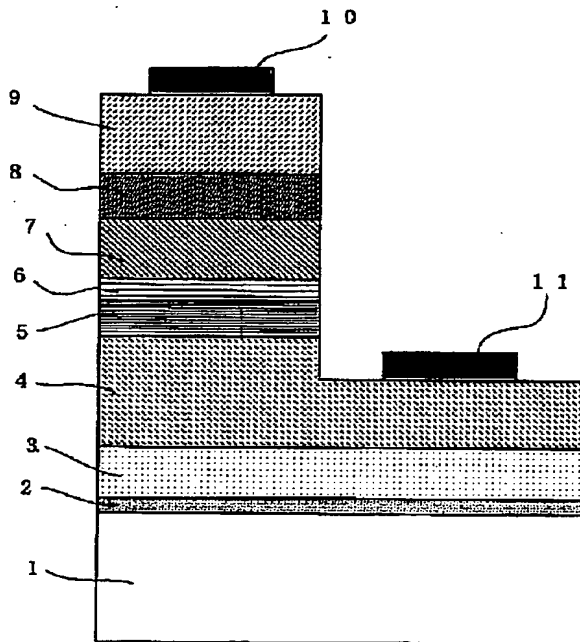
【図3】図3は、従来例のLED素子の構造を示す模式断面図である。

【符号の説明】

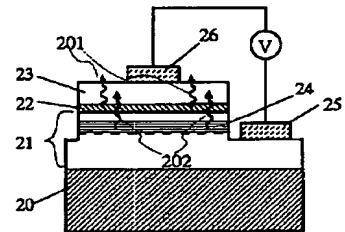
1、20、101・・・基板、
2・・・バッファ層、
3・・・アンダー層、
4・・・n側コンタクト層、
5・・・n側第1多層膜層、
6・・・n側第2多層膜層（実施例1ではフォトルミネ

センス層）、
7、22・・・活性層、
8・・・p側クラッド層、
9・・・Mgドープp側GaNコンタクト層、
10、26、108・・・p電極、
11、25、107・・・n電極。
21、102・・・n型層
23、106・・・p型層
201、202・・・各層からの発光（波長が異なる）

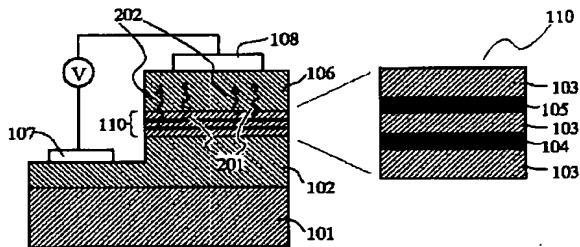
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA04 AA12 AA14 AA31 CA05
CA10 CA34 CA35 CA40 CA53
CA56 CA57 CA65 CA73 CA74